DIE WIDERSTANDSÄNDERUNG DES MIKROPHONKOHLENKONTAKTES WÄHREND DER BEWEGUNG.

INAUGURAL-DISSERTATION

EINER

HOHEN PHILOSOPHISCHEN FAKULTÄT (II. SEKTION)

DER

KGL. BAYR. LUDWIG-MAXIMILIANS-UNIVERSITÄT IN MÜNCHEN

AM 9. NOVEMBER 1899

ZUR

ERLANGUNG DER DOKTORWÜRDE

VORGELEGT

VON

JOHN MANNHEIM

AUS HAMBURG.

ACAD. LANDBAU BIBL.

LEIPZIG,

JOHANN AMBROSIUS BARTH.

Druck von Metzger & Wittig in Leipzig.

Inhalt.

Seite

Einleitung 5

I. Teil.

Untersuchungen über den mittleren Widerstand des Mikrophonkohlenkontaktes während der Bewegung 7

II. Teil.

Die Widerstandsänderung des Mikrophonkohlenkontaktes während einer Periode der Bewegung 26

1. Der Versuchsapparat 26

2. Die Versuchsanordnung 30

3. Messungen 32

III. Teil.

Photographische Wiedergabe der durch die Widerstandsänderung des Mikrophonkohlenkontaktes hervorgerufenen Stromkurven . . . 42

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41548318_0103

Einleitung.

Die Widerstandsänderung des Mikrophonkohlenkontaktes und die Ursachen derselben bildet den Gegenstand zahlreicher Untersuchungen.

In erster Linie sind hier die grundlegenden Versuche von Shelford Bidwell[1]) zu nennen, welcher die Abhängigkeit des Kohlenkontaktes vom Drucke untersuchte und deren hauptsächlichstes Ergebnis die experimentelle Feststellung der Tatsache war, daß der Widerstand nicht nur vom Drucke, sondern auch von der Stromstärke abhängig ist. — Die von vielen vertretene Ansicht, daß der Grund der Widerstandsänderung in anderen Ursachen zu suchen sei, wurde zuerst von Stroh[2]) ausgesprochen, welcher die Widerstandsänderung einer Änderung der Luftschichtendicke zuschrieb. Derselben Ansicht war Heaviside[3]), während Hughes und Preece die Ursache der Mikrophonwirkung in einem kleinen Lichtbogen, Probert und Soward[4]) in einer kondensierten Gasschicht finden wollten.

Munro schließlich sieht die Hauptwirkung in einer zwischen den Kohlenspitzen bestehenden abstoßenden Kraft, eine ebenfalls von vielen geteilte Ansicht.

Die später ausgeführten, nicht sehr zahlreichen Untersuchungen über diesen Gegenstand lassen bald die eine, bald

1) S. Bidwell, Proc. Roy. Soc. **35.** p. 1. 1883.

2) A. Stroh, Telegraphic Journal **12.** p. 350—351. 1883.

3) O. Heaviside, Electrician **10.** p. 293—296. 1883.

4) J. Probert u. Alfred W. Soward, Telegraphic Journal **12.** p. 328—329. 1883.

die andere dieser Ansichten als die richtige erscheinen, ohne daß sie bis jetzt eine Klärung dieser Frage herbeigeführt hätten. — Zu erwähnen sind besonders die Arbeiten von Cross und Sabine[1]), Nebel[2]), Moser[3]) und die eingehenden Untersuchungen von Cross[4]), welche sich mit der Munroschen Auffassung der abstoßenden Kraft befassen. — Die letzten vorliegenden Untersuchungen stammen von Fessenden[5]), welcher fand, daß die verschiedene Kontaktfläche bei verschiedenem Drucke die Hauptursache der Widerstandsänderung ist, dagegen der Druck allein und die an der Kontaktstelle erzeugte Wärme ganz untergeordnete Wirkungen hervorrufen.

Eine genaue und richtige Theorie der mikrophonischen Wirkungen läßt sich offenbar erst dann aufstellen, wenn die Widerstandsänderungen des Mikrophonkohlenkontaktes während der Bewegung untersucht worden sind. — Derartige Versuche sind aber bis jetzt, soweit ich weiß, nicht angestellt worden. Zwar liegt eine Arbeit von Boekmann[6]) vor, welcher den elektrischen Widerstand des Mikrophonkohlenkontaktes während der Bewegung untersuchte. Hierüber sagt Dr. Feussner[7]) u. a.: „Der Verfasser beschäftigt sich aber nicht mit dem Punkte, welcher bei dem Mikrophon fast ausschließlich in Frage kommt, nämlich dem Unterschied des Widerstandes während der verschiedenen Schwingungsphasen, sondern er vergleicht nur den mittleren Widerstand während der Bewegung mit dem Widerstand der Ruhe . . . .“

Im folgenden werde ich nun eine Methode angeben, mit welcher sich die Widerstandsänderung des Mikrophonkohlenkontaktes während einer Periode der Bewegung messen läßt. — Vorher sollen jedoch die von mir angestellten Vorunter-

---

1) Charles R. Cross u. A. W. Sabine, Proc. Americ. Acad. **16.** p. 94—184. 1889.

2) B. Nebel, Exn. Rep. d. Phys. **25.** p. 350—369. 1889.

3) J. Moser, Rundschau **4.** p. 460—461. 1889.

4) Charles R. Cross, Proc. Americ. Acad. **25.** (New. Series **17.**) p. 69—82. 1890.

5) R. A. Fessenden, Elektrotechn. Zeitschr. **18.** p. 281. 1897.

6) O. Boekmann, Wied. Ann. **23.** p. 651. 1884.

7) K. Feussner, Fortschritte der Physik **40.** p. 943. 1884.

suchungen, welche sich noch mit dem mittleren Widerstand während der Bewegung befassen, beschrieben werden. Schließlich werde ich die durch die Widerstandsänderung hervorgerufene Stromkurve photographisch wiedergeben.

I. Teil.

Untersuchungen über den mittleren Widerstand des Mikrophonkohlenkontaktes während der Bewegung.

Die eigentümliche Erscheinung, daß der mittlere Widerstand des Mikrophonkohlenkontaktes während der Bewegung verschieden ist von dem der Ruhe, ist qualitativ schon häufig untersucht worden. Für die Untersuchung der mikrophonischen Wirkungen schien es nun in erster Linie geboten festzustellen, ob zwischen diesem mittleren Widerstand der Bewegung und der Tonstärke, welcher ja offenbar die Veränderung des Bewegungswiderstandes gegen den Ruhewiderstand zuzuschreiben ist, eine gesetzmäßige Beziehung besteht.

Als Mikrophon war es für diese Untersuchungen naheliegend, die von Boekmann gebrauchte und in seiner Arbeit empfohlene Anordnung zu verwenden. Boekmann nahm zu seinen Versuchen, um möglichst einfache Verhältnisse zu erhalten, nur einen beweglichen Kontakt, welchen er auf der Membran eines Telephons starr befestigte. Der andere Kontakt war an der Spitze einer Mikrometerschraube befestigt und auf den Membrankontakt einzustellen. Wurde nun durch das Telephon ein durch eine elektromagnetische Stimmgabel unterbrochener Strom geschickt, so konnten, wie leicht einzusehen, durch Austausch der Stimmgabel oder durch Veränderung eines vorgeschalteten Widerstandes Tonhöhe bez. Tonstärke beliebig geändert werden. — Diese Anordnung glaube ich jedoch nicht für einwandsfrei halten zu dürfen, denn erstens läßt sich aus der durch das Telephon gehenden Stromstärke gar kein Schluß auf die Tonstärke ziehen, da ja der Magnetis-

mus des Telephonelektromagneten keineswegs proportional der Stromstärke ist, zweitens sind diese durch gewaltsame Abziehung und Anpressung des beweglichen Kohlenkontaktes hervorgebrachten Schwingungen offenbar viel roherer Natur als die feinen Verschiebungen, wie sie durch Tonwellen hervorgerufen werden.

Ich suchte nun, um ebenfalls möglichst einfache Verhältnisse zu erhalten, dieser Anordnung nahe zu kommen, indem ich ebenfalls einen Kohlenkontakt an einer Mikrometerschraube als festen Kontakt anbrachte, als beweglichen Kontakt aber direkt eine Kohlenmembran nahm. — Mit einem derartigen Mikrophon habe ich jedoch keine Resultate erzielen können. War mittels der Mikrometerschraube der Apparat auf deutlichste Tonwiedergabe eingestellt, so wurde bald, wie leicht durch ein Telephon oder eine Widerstandsmessung nachgewiesen werden konnte, die Tonwiedergabe unterbrochen bez. der Widerstand ∞ groß, indem die den Stromübergang vermittelnden Teilchen verbrannten, die starre Befestigung des einen Kohlenkontaktes aber diesen verhinderte, mit der Membran neue Kontaktpunkte zu bilden.

Ich ging daher, zumal meine Versuche möglichst den praktisch vorkommenden Fällen angepaßt sein sollten, direkt zu gebräuchlichen Formen des Mikrophons über und benutzte von vier verschiedenen Typen je einen Vertreter. Von „Einkontaktern“ benutzte ich die von J. Berliner konstruierte Form, von Mikrophonen mit mehreren festen Kohlenkontakten den Apparat von Fr. Reiner, welcher in Bayern eingeführt ist, und das Mikrophon von Mix und Genest als Vertreter eines „Mehrkontakters“ mit Dämpfung. — Von dem Typus der Kohlenkörnermikrophone schließlich wählte ich den „Universaltransmitter“ von J. Berliner.

Als Tonquelle wurde zunächst versucht, dem Anraten von Dr. Wietlisbach[1]) folgend, elektromagnetische Stimmgabeln zu verwenden. Obwohl es hiermit möglich war, sehr konstante Töne von großer Amplitude zu erhalten, mußte von

1) V. Wietlisbach, Centralbl. f. Elektrotechnik 5. p. 290. 1883.

dieser Art der Tonerzeugung abgegangen werden, da bei Stimmgabeln mit außerhalb der Zinken stehenden Elektromagneten mit langen Kernen der Magnetisierungston äußerst störte, und selbst bei einem zwischen den Zinken stehenden kurzkernigen, möglichst dicken Elektromagneten das Magnetisierungsgeräusch zu stark war, um vernachlässigt werden zu können. — Ich ging daher zu Orgelpfeifen über und war die Versuchsanordnung nun folgende:

Auf dem Tischchen einer Mikrometerbank war eine Orgelpfeife befestigt, welche durch aus einem Glockengasometer unter konstantem Drucke ausströmende Luft angeblasen wurde. Der Inhalt des Gasometers von $1^1/_2$ cbm reichte zu einer ganzen Versuchsreihe aus, wodurch alle Erschütterungen des Mikrophons, welche ein Ausziehen des Gasometers verursacht hätten, vermieden wurden. — Durch eine von der Luftleitung zu einem Wassermanometer führende Zweigleitung konnte jederzeit der Luftdruck kontrolliert werden.

Vor der Orgelpfeife war das zu untersuchende Mikrophon freistehend auf einer Fundamentplatte fest montiert. Durch Verschieben der Pfeife war es nun möglich, letztere in jede gewünschte Entfernung vom Mikrophon zu bringen.

Der mittlere Widerstand der Bewegung wurde mittels der Wheatstoneschen Drahtbrücke gemessen, wobei ein Akkumulator als Stromquelle benutzt wurde.

Auf konstante elektromotorische Kraft mußte gesehen werden, da ja der Widerstand des Kohlenkontaktes auch von der Stromstärke abhängig ist.

Die Konstanz der Batterie wurde einfach dadurch kontrolliert, daß nach jeder Messung der Akkumulator durch einen Widerstand direkt mit dem Galvanometer verbunden wurde, wobei sich stets derselbe Galvanometerausschlag ergeben mußte.

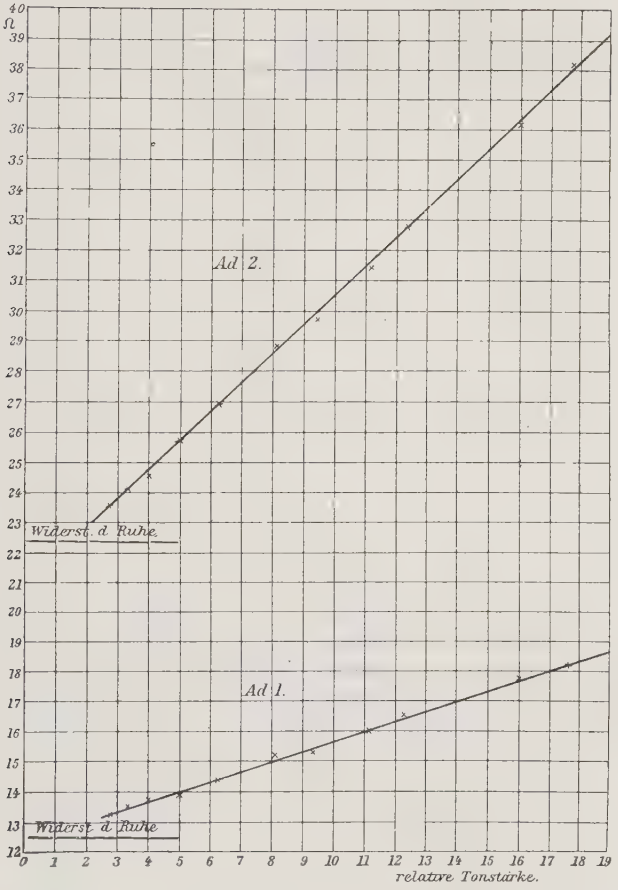
Ferner konnte durch einen Umschalter das Mikrophon mit einer Batterie und einem Telephon verbunden werden und hierdurch der Transmitter vor Beginn der Messungen auf deutlichste Tonwiedergabe eingestellt werden.

Bei den Messungen konnte es sich nun nicht darum handeln, den mittleren Widerstand für eine bestimmte Tonstärke durch eine größere Zahl von Ablesungen zu kontrollieren, denn obgleich sämtliche Versuche bei Nacht ausgeführt wurden, war es trotz der festen Aufstellung des Mikrophons nicht möglich, das so empfindliche Instrument während einer langen Zeit vor entfernten, oft gar nicht wahrnehmbaren Erschütterungen zu schützen, welche eine Widerstandsänderung der Kohlenkontakte verursachten. Es wurde daher darauf gesehen, möglichst rasch eine ganze Versuchsreihe zu erledigen, indem jeder Widerstand auf beiden Seiten des Brückendrahtes abgelesen und hierauf sofort die Orgelpfeife auf die nächste zu messende Entfernung eingestellt wurde. — Bei meinen ersten Versuchen wurde nach jeder Messung des Widerstandes der Bewegung der Widerstand der Ruhe durch eine Messung kontrolliert, da letzterer aber konstant blieb, und es sich, wie schon gesagt, um eine möglichst rasche Untersuchung einer ganzen Versuchsreihe handelte, wurde später nur der Widerstand der Ruhe am Anfang, in der Mitte und am Ende einer Versuchsreihe bestimmt.

Als Galvanometer wurde auch in Rücksicht auf möglichst rasche Ablesung ein Wiedemannsches Spiegelgalvanometer von 1,3 Sek. Schwingungsdauer gewählt, welches eine außerordentlich starke Kupferdämpfung besaß.

Aus der großen Zahl von Versuchen, welche ich zur Bestimmung der zwischen mittlerem Widerstand des Mikrophonkohlenkontaktes und Tonstärke bestehenden Beziehung anstellte, gebe ich nur im folgenden eine Anzahl von Versuchsreihen wieder, welche mit den oben erwähnten vier Instrumenten erhalten wurden. Zu den Versuchen wurde meist eine Orgelpfeife von 440 Schwingungen (a) benutzt, jedoch kamen auch tiefere wie höhere Pfeifen zur Verwendung. Der Luftdruck wurde ebenfalls in beträchtlichen Grenzen variiert. Schwingungszahl, Luftdruck sowie die Temperatur sind über jeder Tabelle angegeben. Die in der zweiten Kolumne angegebene Entfernung bezieht sich auf den Abstand vom Spalt der Pfeife bis zur Membran. Die in der dritten Kolumne angegebene

Tonstärke ist eine relative, bezogen auf eine Entfernung von 200 mm. Die in dieser Entfernung auf das Mikrophon wirkende Tonstärke wurde von mir allgemein als Tonstärke 1



bezeichnet. — Die sich hieraus in anderen Entfernungen ergebende Tonstärke wurde nach dem sogenannten „quadratischen“ Gesetz berechnet, welches besagt, daß die Tonstärke umgekehrt proportional dem Quadrate der Entfernung.

I.

Mikrophon: Einkontakter von J. Berliner.

Tabelle 1.

(Zu Tabellen 1—16 vgl. Kurven *Ad 1* bis *Ad 16.*)

Luftdruck: 128 mm Wassersäule. Temperatur: 13,6° C.
Widerstand des Mikrophons in Ruhe: 12,87 Ω.

Nr.	Entfernung in mm	Relative Tonstärke bezogen auf 200 mm = 1	Widerstand (mittlerer) in Ω
1	120	2,78	13,25
2	110	3,31	13,41
3	100	4,00	13,66
4	90	4,94	13,92
5	80	6,26	14,39
6	70	8,17	15,18
7	65	9,42	15,48
8	60	11,12	16,00
9	55	12,32	16,51
10	50	16,00	17,70
11	45	17,79	18,25

Tabelle 2.

Luftftdruck: 157 mm Wassersäule. Temperatur: 14,0° C.
Widerstand des Mikrophons in Ruhe: 22,58 Ω.

Nr.	Entfernung in mm	Relative Tonstärke bezogen auf 200 mm = 1	Widerstand (mittlerer) in Ω
1	120	2,78	23,66
2	110	3,31	24,19
3	100	4,00	24,68
4	90	4,94	25,78
5	80	6,26	26,49
6	70	8,17	28,83
7	65	9,42	29,80
8	60	11,12	31,50
9	55	12,32	32,83
10	50	16,00	36,31
11	45	17,79	38,15

Tabelle 3.

Luftdruck: 128 mm Wassersäule. Temperatur: 15,0° C.
Widerstand des Mikrophons in Ruhe: 9,86 Ω.

Nr.	Entfernung in mm	Relative Tonstärke bezogen auf 200 mm = 1	Widerstand (mittlerer) in Ω
1	70	8,17	11,28
2	65	9,42	12,65
3	60	11,12	14,54
4	55	12,32	16,00
5	50	16,00	20,28
6	45	17,79	22,79
7	42	22,68	27,87
8	39	26,28	32,23

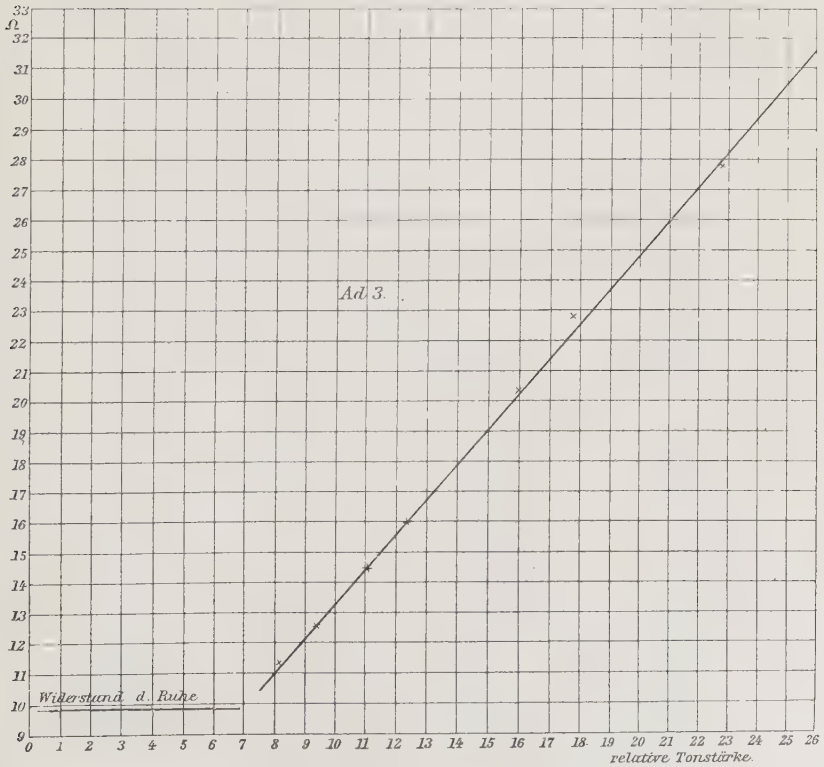
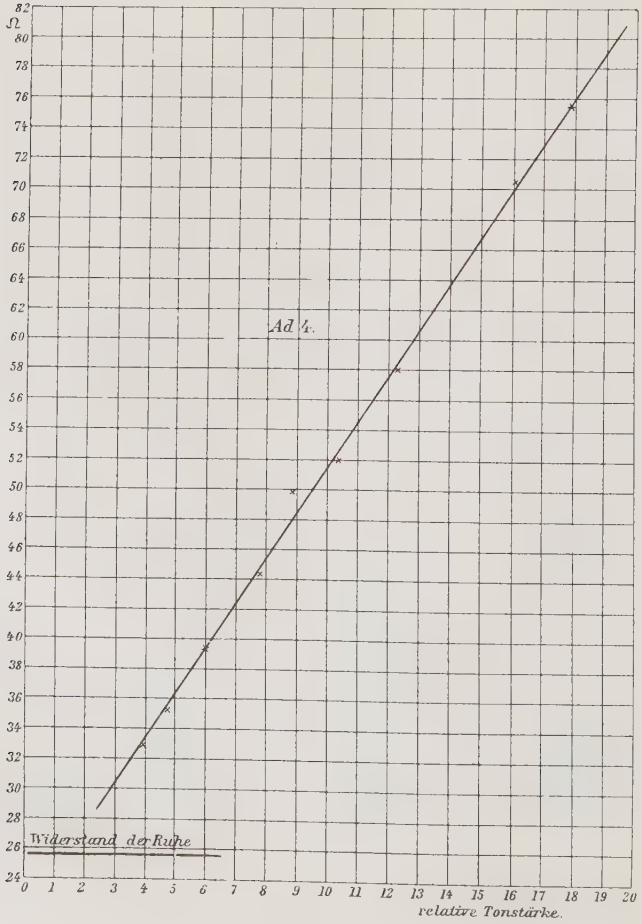


Tabelle 4.

Luftdruck: 200 mm Wassersäule. Temperatur: 15,2° C.
Widerstand des Mikrophons in Ruhe: 25,72 Ω.

Nr.	Entfernung in mm	Relative Tonstärke bezogen auf 200 mm = 1	Widerstand (mittlerer) in Ω
1	103	3,88	33,11
2	93	4,68	35,30
3	83	5,98	39,43
4	73	7,72	44,57
5	68	8,89	49,99
6	63	10,36	52,15
7	58	12,22	58,06
8	53	16,07	70,20
9	48	17,89	75,65



II.

Mikrophon: Mix und Genest (Kohlenwalzen mit Federdämpfung).

Tabelle 5.

Luftdruck: 50 mm Wassersäule. Temperatur: 14,9° C.
Widerstand des Mikrophons in Ruhe: 10,25 Ω.

Nr.	Entfernung in mm	Relative Tonstärke bezogen auf 200 mm = 1	Widerstand (mittlerer) in Ω
1	118	2,87	10,78
2	108	3,43	11,12
3	98	4,16	11,83
4	88	5,17	12,91
5	78	6,57	13,50
6	68	8,65	15,17
7	58	11,89	17,65
8	48	17,36	21,93

Tabelle 6.

Luftdruck: 100 mm Wassersäule. Temperatur: 13,4° C.
Widerstand des Mikrophons in Ruhe: 6,83 Ω.

Nr.	Entfernung in mm	Relative Tonstärke bezogen auf 200 mm = 1	Widerstand (mittlerer) in Ω
1	83,5	5,73	7,20
2	78,5	6,50	7,37
3	73,5	7,42	7,62
4	68,5	8,52	7,90
5	63,5	9,94	8,28
6	58,5	11,68	8,83
7	53,5	13,97	9,88
8	48,5	16,04	10,23
9	46,5	18,50	10,71
10	44,5	20,20	11,11
11	43,5	21,20	11,30
12	42,5	22,07	11,78

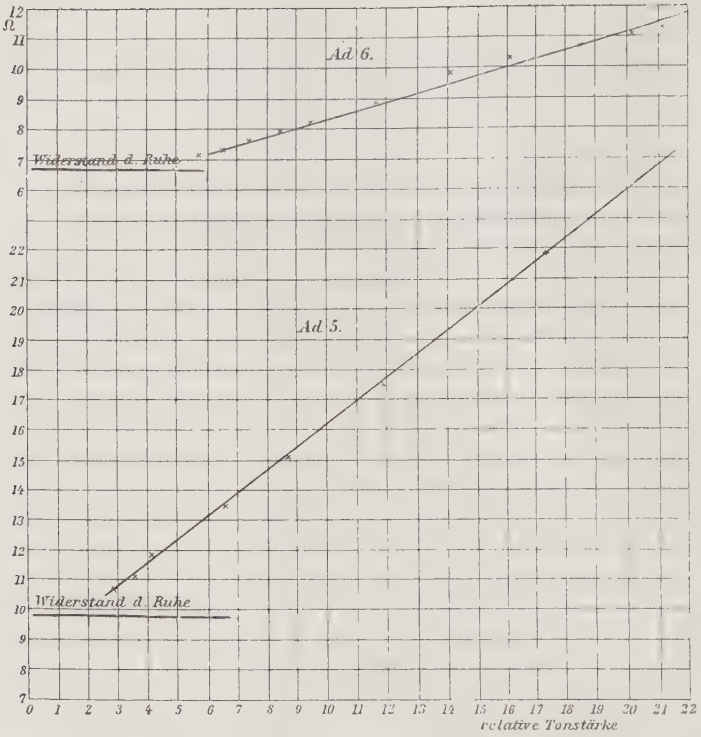


Tabelle 7.

Luftdruck: 120 mm Wassersäule. Temperatur: 14,6° C.
Widerstand des Mikrophons in Ruhe: 11,70 Ω.

Nr.	Entfernung in mm	Relative Tonstärke bezogen auf 200 mm = 1	Widerstand (mittlerer) in Ω
1	71	7,93	12,72
2	66	9,18	13,07
3	61	10,75	13,99
4	56	12,76	15,38
5	51	15,38	16,61
6	46	18,90	18,59
7	43	21,63	19,98
8	41	23,40	21,14

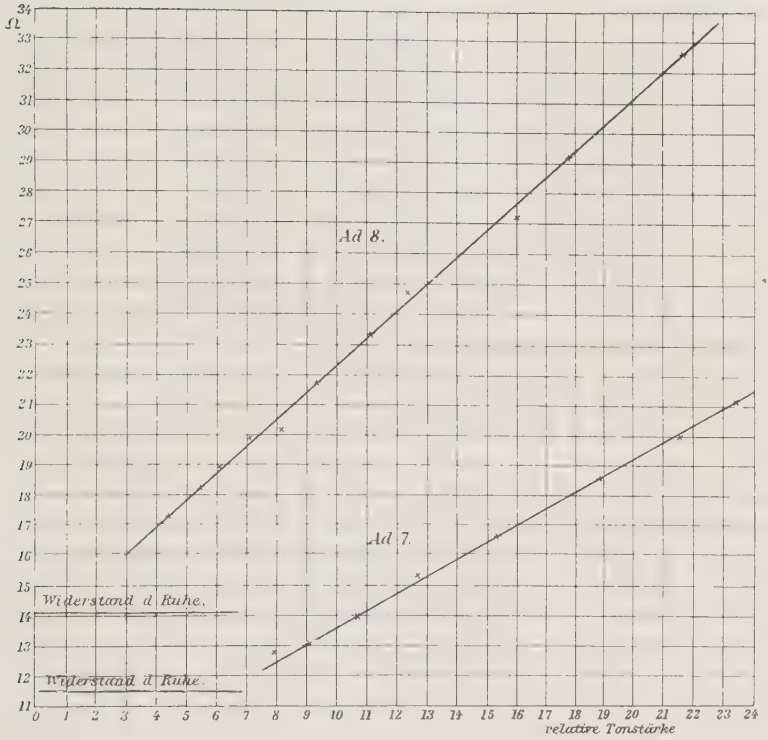


Tabelle 8.

Luftdruck: 153 mm Wassersäule. Temperatur: 14,4° C.
Widerstand des Mikrophons in Ruhe: 14,14 Ω.

Nr.	Entfernung in mm	Relative Tonstärke bezogen auf 200 mm = 1	Widerstand (mittlerer) in Ω
1	95	4,43	17,24
2	85	5,54	18,22
3	80	6,26	18,96
4	75	7,11	19,73
5	70	8,17	20,20
6	65	9,42	21,72
7	60	11,12	23,24
8	55	12,32	24,78
9	50	16,00	27,29
10	45	17,79	29,11
11	43	21,63	32,58

III.

Mikrophon: Friedr. Reiner, München (16 lose Kohlenkerne auf Kohlenleisten).

Tabelle 9.

Luftdruck: 80 mm Wassersäule. Temperatur: 17,6° C.
Widerstand des Mikrophons in Ruhe: 8,12 Ω.

Nr.	Entfernung in mm	Relative Tonstärke bezogen auf 200 mm = 1	Widerstand (mittlerer) in Ω
1	100	4,00	8,84
2	90	4,94	9,15
3	80	6,26	9,74
4	60	11,12	11,81
5	50	16,00	13,09
6	40	25,00	18,13
7	35	32,65	20,63

Tabelle 10.

Luftdruck: 110 mm Wassersäule. Temperatur: 18° C.
Widerstand des Mikrophons in Ruhe: 7,58 Ω.

Nr.	Entfernung in mm	Relative Tonstärke bezogen auf 200 mm = 1	Widerstand (mittlerer) in Ω
1	140	2,04	9,05
2	120	2,78	9,46
3	110	3,30	10,14
4	100	4,00	9,66
5	90	4,94	11,20
6	80	6,26	12,58
7	70	8,17	13,63
8	60	11,12	17,09
9	40	25,00	28,06
10	35	32,65	33,98
11	33	36,78	58,59

Tabelle 11.

Luftdruck: 111 mm Wassersäule. Temperatur: 17,6° C.
Widerstand des Mikrophons in Ruhe: 7,99 Ω.

Nr.	Entfernung in mm	Relative Tonstärke bezogen auf 200 mm = 1	Widerstand (mittlerer) in Ω
1	90	4,94	11,25
2	80	6,26	13,61
3	70	8,17	15,15
4	60	11,12	17,55
5	50	16,00	11,15
6	40	25,00	29,88
7	35	32,65	37,34

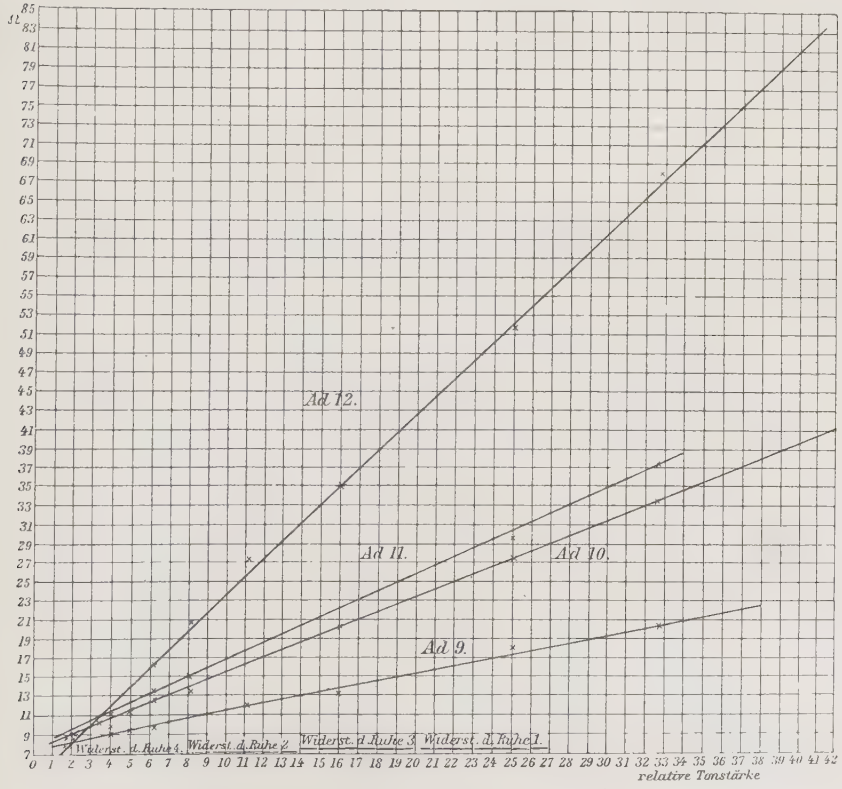


Tabelle 12.

Luftdruck: 146 mm Wassersäule. Temperatur: 15,2° C.
Widerstand des Mikrophons in Ruhe: 7,08 Ω.

Nr.	Entfernung in mm	Relative Tonstärke bezogen auf 200 mm = 1	Widerstand (mittlerer) in Ω
1	150	1,78	7,48
2	140	2,04	8,00
3	130	2,37	8,50
4	120	2,78	9,39
5	110	3,31	10,58
6	100	4,00	11,02
7	80	6,26	15,98
8	70	8,17	20,59
9	60	11,12	27,18
10	50	16,00	34,98
11	40	25,00	51,95
12	35	32,65	67,94
13	33	36,78	74,76
14	31	41,07	84,71

IV.

Mikrophon: Universaltransmitter von J. Berliner. (Kohlenkörnermikrophon. Liegende Anordnung.)

Tabelle 13.

Luftdruck: 68 mm Wassersäule. Temperatur: 19,6° C.
Widerstand des Mikrophons in Ruhe: 24,41 Ω.

Nr.	Entfernung in mm	Relative Tonstärke bezogen auf 200 mm = 1	Widerstand (mittlerer) in Ω
1	140	2,04	28,35
2	130	2,37	29,59
3	120	2,78	30,08
4	110	3,31	32,73
5	105	3,63	32,92
6	100	4,00	33,30
7	95	4,43	35,72
8	89	5,05	36,78
9	88	5,17	37,45

Tabelle 14.

Luftdruck: 104 mm Wassersäule. Temperatur: 19,1° C.

Widerstand des Mikrophons in Ruhe: 13,85 Ω.

Nr.	Entfernung in mm	Relative Tonstärke bezogen auf 200 mm = 1	Widerstand (mittlerer) in Ω
1	120	2,78	16,81
2	110	3,31	21,55
3	105	3,63	23,92
4	100	4,00	26,51
5	95	4,43	28,22
6	92	4,73	32,46
7	89	5,05	33,20
8	88	5,17	34,39

Tabelle 15.

Luftdruck: 154 mm Wassersäule. Temperatur: 19,6° C.

Widerstand des Mikrophons in Ruhe: 28,43 Ω.

Nr.	Entfernung in mm	Relative Tonstärke bezogen auf 200 mm = 1	Widerstand (mittlerer) in Ω
1	140	2,04	34,93
2	130	2,37	35,76
3	120	2,78	37,44
4	110	3,31	39,77
5	105	3,63	41,39
6	100	4,00	42,05
7	95	4,43	44,25
8	92	4,73	46,32
9	89	5,05	46,25
10	88	5,17	48,02

Tabelle 16.

Luftdruck: 190 mm Wassersäule. Temperatur: 18,8° C.

Widerstand des Mikrophons in Ruhe: 4,95 Ω.

Nr.	Entfernung in mm	Relative Tonstärke bezogen auf 200 mm = 1	Widerstand (mittlerer) in Ω
1	120	2,78	5,19
2	110	3,30	7,77
3	105	3,63	9,63
4	100	4,00	11,82
5	95	4,43	17,80
6	92	4,73	17,93
7	89	5,05	22,28
8	88	5,17	23,36

Die graphische Darstellung dieser Tabellen zeigt deutlich, daß in den gemessenen Grenzen, welche ja die praktisch vorkommenden weit überschreiten, der mittlere Widerstand proportional der Tonstärke ist und zwar mit zunehmender Tonstärke wächst. — Der Widerstand der Ruhe ist kleiner als der der Bewegung. Dieses letztere Resultat ist entgegengesetzt dem von Boekmann gefundenen, was daraus zu erklären ist, daß letzterer eben durch die starre Befestigung des Hammerkontaktes unter ganz anderen Verhältnissen arbeitete. — Die Tatsache, daß der Widerstand der Bewegung größer als der der Ruhe, läßt zwei verschiedene Annahmen zu.

Erstens läßt sich diese Erscheinung damit erklären, daß eben die Widerstandsverminderung in der Phase der Annäherung des Membrankontaktes aus der Ruhelage an den Hammerkontakt infolge der Elastizität der Kohle geringer ist als die Widerstandsvermehrung in der Phase der Entfernung des Membrankontaktes aus der Ruhelage.

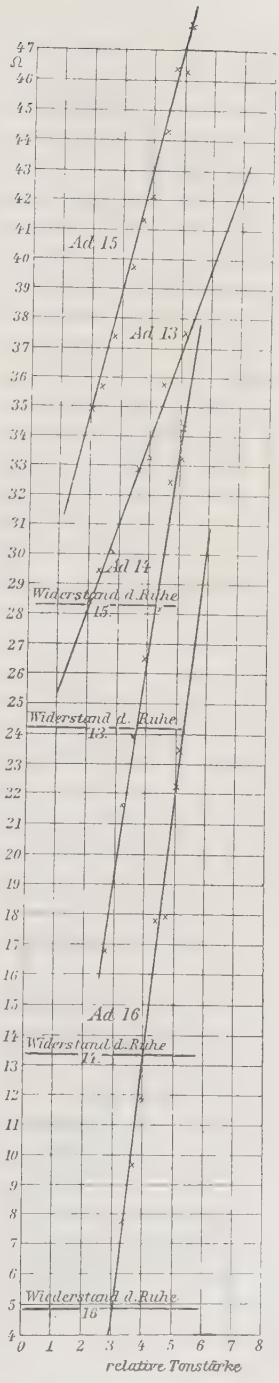
Zweitens läßt sich aber auch annehmen, daß während der Bewegung, sei es nun durch elektromagnetische Erscheinungen oder einfach durch rein mechanische Fortschleuderung des

Hammerkontaktes eine Geschwindigkeitsdifferenz zwischen den beiden Kontakten auftritt, indem der Hammerkontakt nur durch die Gravitation in seine Anfangslage zurückkehrt, der Membrankontakt aber sich der Schwingungsdauer entsprechend bewegt.

Wenn letztere Annahme zutreffend, müßte die Geschwindigkeitsdifferenz bei gleicher Amplitude um so größer sein, je rascher sich der Membrankontakt bewegt, je kürzer also die Schwingungsdauer, d. h. je höher der Ton. — Im ersteren Falle dagegen würde der Widerstand der Bewegung nur von der Amplitude abhängen und müßte unabhängig sein von der Tonhöhe.

Hierüber wurden nun Versuche in folgender Weise angestellt. Auf dem Tischchen der Mikrometerbank war an einer vertikalen Achse drehbar eine Scheibe angebracht, an welcher vier Orgelpfeifen mit den Schwingungszahlen: 256, 320, 440, 580 angebracht waren. Die Breite und Länge des Spaltes war bei allen vier Pfeifen gleich, und war die Einrichtung so getroffen, daß jede der Pfeifen, durch Drehen der Scheibe vor das Mikrophon gebracht, den gleichen Abstand von Pfeifenspalt bis Membran hatte.

Bei gleicher Entfernung, Tonstärke und aus dem Spalt ausströmender Luftmenge ergab die Widerstandsmessung nun folgende Resultate:



I.

Mikrophon: Einkontakter von J. Berliner.

Tabelle 17.

Nr.	Schwingungszahl	Mittl. Widerstand in Ω
1	256	17,45
2	320	17,95
3	440	18,02
4	580	19,22

Bei anderer Entfernung von der Membran:

Tabelle 18.

Nr.	Schwingungszahl	Mittl. Widerstand in Ω
1	256	17,99
2	320	18,31
3	440	18,61
4	580	19,80

II.

Mikrophon: Mix und Genest.

Tabelle 19.

Nr.	Schwingungszahl	Mittl. Widerstand in Ω
1	256	11,77
2	320	12,31
3	440	12,40
4	580	13,51

Bei anderer Entfernung:

Tabelle 20.

Nr.	Schwingungszahl	Mittl. Widerstand in Ω
1	256	12,85
2	320	12,67
3	440	13,61
4	580	14,25

III.

Mikrophon: Friedr. Reiner, München.

Tabelle 21.

Nr.	Schwingungszahl	Mittl. Widerstand in Ω
1	256	10,77
2	320	12,00
3	440	13,39
4	580	15,15

Bei anderer Entfernung:

Tabelle 22.

Nr.	Schwingungszahl	Mittl. Widerstand in Ω
1	256	14,54
2	320	15,60
3	440	15,92
4	580	18,02

IV.

Mikrophon: Universaltransmitter von J. Berliner.

Tabelle 23.

Nr.	Schwingungszahl	Mittl. Widerstand in Ω
1	256	13,90
2	320	15,27
3	440	17,56
4	580	17,84

Bei anderer Entfernung:

Tabelle 24.

Nr.	Schwingungszahl	Mittl. Widerstand in Ω
1	256	15,91
2	320	16,30
3	440	17,91
4	580	18,31

Der mittlere Widerstand der Bewegung wächst also mit der Tonhöhe. Dieses Ergebnis stimmt mit dem von R. Cross [1]) gefundenen überein, welcher feststellte, daß die Stromstärke mit wachsender Tonhöhe abnimmt, der Widerstand also wächst. — Hiernach scheint unsere zweite Annahme, welche die Zunahme des mittleren Widerstandes während der Bewegung gegen den der Ruhe einer Geschwindigkeitsdifferenz zwischen Membran- und Hammerkontakt zuschreibt, die richtige zu sein.

II. Teil.

Die Widerstandsänderung des Mikrophonkohlenkontaktes während einer Periode der Bewegung.

1. Der Versuchsapparat.

Um die Widerstandsänderung des Mikrophons während einer Periode der Bewegung messen zu können, ist es nötig, Tonwellen von bekannter Form auf den Transmitter wirken zu lassen, deren jeweilige Phase genau bestimmbar ist. — Ich benutzte hierzu einen nach meinen Angaben von dem Feinmechaniker Val. Linhoff, München, angefertigten Apparat, welcher in Figg. 1—3 abgebildet ist. Derselbe ist folgendermaßen konstruiert:

Die mit Schlitzen versehene Scheibe *S* (Fig. 2) bildet mit der als Luftkessel dienenden Dose *D* eine Sirene. Um Tonwellen von sinusartiger Gestalt zu erhalten, darf der Luftstoß nur bei 0^0 der Sinuskurve momentan erfolgen. Um diese Forderung möglichst zu erfüllen, wurde die Breite der Schlitze im Verhältnis zu dem zwischen je zwei Schlitzen bestehenden Zwischenraume sehr gering genommen. — Gewählt wurde das Verhältnis 1 : 100. — Die Schlitze erhielten eine Breite von 1 mm bei einer Länge von 5 mm in radialer Richtung. Die zehn Schlitze der Scheibe standen daher in einem Kreise von 318 mm Durchmesser. Um eine Einwirkung der zwischen der die Luft zuführenden Dose und der Scheibe seitwärts ausströmenden Luft auf das Mikrophon zu verhüten, wurde der

1) W. H. Preece u. J. Maier, The Telephone p. 118—119. London 1889.

Durchmesser der Scheibe noch um 10 cm größer gewählt. Letztere hatte demnach einen Durchmesser von 418 mm. Die als Windkessel dienende Dose *D* hatte auf der einen Seite ein Ansatzstück für die die Luft aus dem im I. Teil erwähnten Gasometer zuführende Schlauchleitung, auf der der Sirenenscheibe zugewandten Seite einen horizontalen Schlitz von gleicher Gestalt wie die in der Scheibe befindlichen. — Mit der Sirenenscheibe war durch eine Welle eine mit

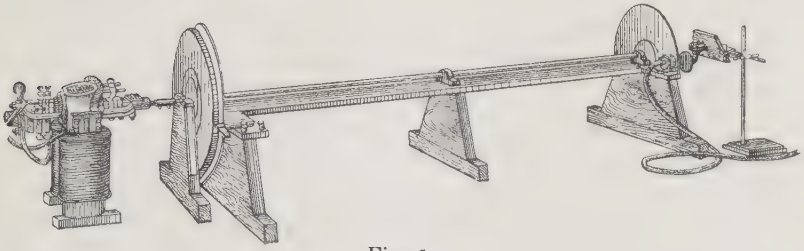


Fig. 1.

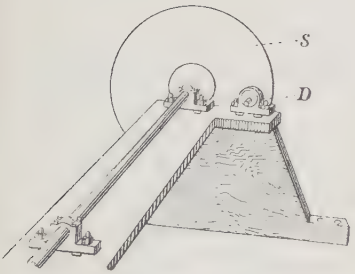


Fig. 2.

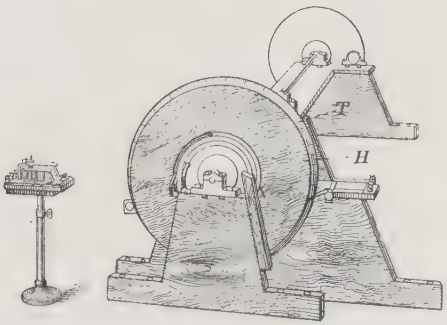


Fig. 3.

Gradteilung versehene Scheibe *T* fest verbunden. Letztere erhielt einen Durchmesser von 520 mm und ermöglichte bei diesen Dimensionen ein genaues Einstellen einer auf der Welle drehbar gelagerten, durch einen Zeiger an der Gradteilung verstellbaren Holzscheibe *H* selbst auf halbe Grade. — An die die Kontaktvorrichtung tragende Holzscheibe schloß sich der den Apparat in Rotation versetzende Elektromotor. — Scheibe *S* und *T* wurden wegen der großen Umfangsgeschwindigkeit aus Aluminium hergestellt.

Die Kontaktvorrichtung sollte einen einmaligen, gleichmäßigen, momentanen Stromschluß bewerkstelligen, nachdem der Apparat seine normale Umdrehungszahl erlangt hatte. Es war zu diesem Zwecke an der Peripherie der Holzscheibe *H* (Fig. 3) ein Messingstück von einer Länge von 18 mm und einer genau einen Gradteil entsprechenden Breite von 4,3 mm angebracht. Diesem wurde der Strom durch einen in die Holzscheibe eingelassenen Messingring mittels einer Schleiffeder zugeführt und durch eine zweite an dem Umfang der Holzscheibe schleifende Feder abgenommen. Durch einen in den Stromkreis eingeschalteten Schalthebel konnte der Strom nach Erreichung der normalen Tourenzahl geschlossen werden. Durch bloße Handhabung des Schalthebels wäre es aber nun nicht möglich gewesen, einen mehrmaligen Kontakt des Messingstückchens zu verhindern, es war daher ferner ein 140° umfassender Ringteil in die Holzscheibe eingelassen, welcher kurz nachdem das Messingstückchen die Schleiffeder passiert hatte, einen Stromschluß zwischen zwei auf ihm gleitenden Federn herstellte (vgl. Schaltungsschema Fig. 4). Der hier geschlossene, aus einer Batterie in einen Elektromagneten fließende Hülfsstrom bewirkte durch Anziehen des Magnetankers das Herauswerfen eines Hebels aus einem Quecksilbernäpfchen, wodurch der durch das Messingstückchen bei jeder Umdrehung stets wieder geschlossene Strom hier gleich nach dem ersten Kontakt dauernd unterbrochen wurde. Dieser Hülfsstromkreis wurde durch den Schalthebel gleichzeitig mit dem Hauptstromkreis eingeschaltet.

Bei dieser Einrichtung wäre es nun möglich gewesen, daß der Schalthebel gerade geschlossen würde, wenn das Messingstückchen schon an der Schleiffeder vorbei, und der Ringteil den Stromschluß durch das Schleiffederpaar bewerkstelligte. In diesem Falle wäre der Hauptstrom durch Herauswerfen des Hebels aus dem Quecksilbernapfe schon unterbrochen, bevor überhaupt ein Stromstoß stattgefunden hätte. Um dieser Möglichkeit entgegenzutreten war ein zweites Schleiffederpaar derart über dem Ringteil angebracht, daß es 140° vor dem Kontakt zwischen Messingstück und Schleiffeder bis zum Eintreten dieses Kontaktes einen Stromschluß durch einen zweiten Elektromagneten herstellte, welcher durch Anziehen seines

Ankers einen Hebel in ein Quecksilbernäpfchen hineinwarf und dadurch erst den den erst erwähnten Elektromagneten betätigenden Strom schloß. Es mußte also immer erst der Ringteil das letzterwähnte Schleiffederpaar passieren, worauf nach dem Kontakt zwischen Messingstück und Schleiffeder der Hauptstrom unterbrochen wurde. Auf diese Weise war es möglich, durch Einschalten des Schalthebels einen sicheren einmaligen Stromstoß zu geben.

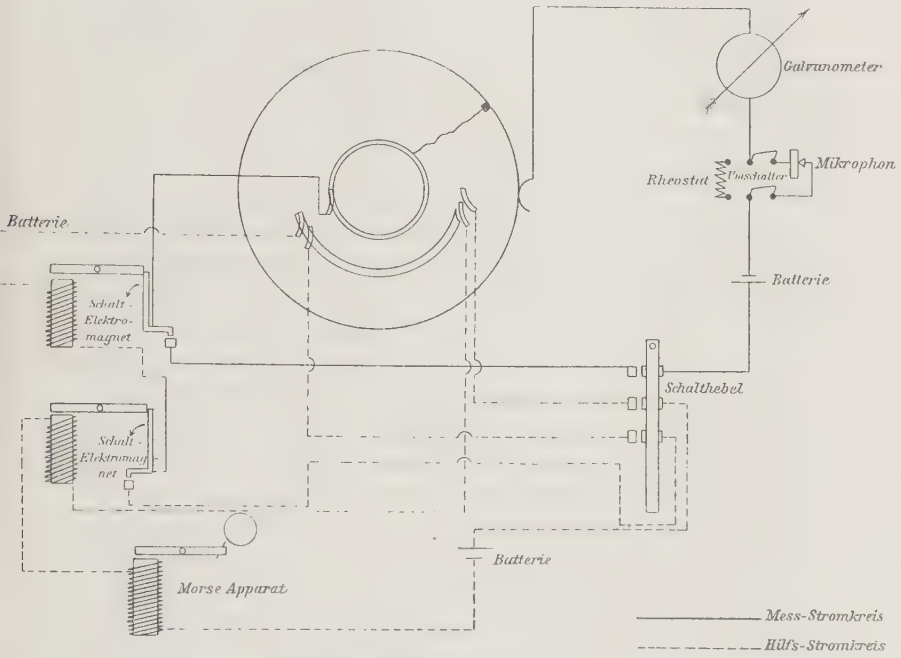


Fig. 4. Schaltungsschema.

Diese Einrichtung bewährte sich bedeutend besser, als eine zuerst von mir angewandte, welche derart war, daß ein an der Teilscheibe verstellbarer Zeiger einen im kritischen Moment in seine Bahn gezogenen Kontakthebel zur Seite schlug.

Die bei der großen Geschwindigkeit schwierige mechanische Konstruktion sowie der die Messung beeinflussende heftige Schlag bildeten große Nachteile gegenüber der zuerst beschriebenen Anordnung, welche vollkommen geräuschlos funktionierte.

Beiden Anordnungen gab ich jedoch den Vorzug vor einer Einrichtung etwa derart, daß durch Auslösen eines Druckpunktes der Kontakt durch Federkraft bewerkstelligt würde. Hierbei hätte die Dauer des Stromstoßes in keinem bestimmten Verhältnis zur Umdrehungszeit gestanden, bei der von mir angewandten Anordnung gab der Kontakt, welches auch immer die Umdrehungsgeschwindigkeit war, das Stromintegral eines Kreisgrades.

Die die Scheiben verbindende Welle erhielt eine Länge von 2 m, um eine Einwirkung des Geräusches des Motors auf das Mikrophon zu verhindern; dieselbe wurde durch vier Lager gestützt.

2. Die Versuchsanordnung.

Mit dem vorher beschriebenen Apparate wurden die Versuche nun in folgender Weise ausgeführt.

In geringer Entfernung vor der Sirene (je kleiner die Entfernung, destoweniger kommen die durch den Motor verursachten Störungen in Betracht) stand das Mikrophon freistehend auf einer Fundamentplatte fest aufgestellt. Die Sirenenscheibe reichte bis zur Fundamentplatte, ohne daß der Apparat dieselbe berührte. Der Strom ging durch die Schleiffeder, den Schleifring, das Messingstückchen, und die zweite Schleiffeder durch den Schalthebel zu der aus einem Akkumulator bestehenden Batterie, und von hier zu einem ballistischen Galvanometer. Als Galvanometer mußte ein Deprezgalvanometer von 8 Sek. Schwingungsdauer genommen werden. Die Stromstärke ist bei ballistischer Anwendung dieser Instrumente nicht genau proportional den Ausschlägen. Die Abweichung läßt sich, wie Edelmann[1]) gezeigt hat, bezogen auf die Dauer des Stromstoßes, als Hyperbel darstellen, bei derartig kurzen Stromstößen jedoch, wie ich sie anwandte (die Stromdauer betrug im Maximum $^1/_{1800}$ Sek.) kann auch bei diesen Instrumenten ohne weiteres die Stromstärke proportional dem Ausschlag gesetzt werden. Wurde das Galvanometer in den Nebenschluß gelegt, so war bei der Kürze des Stromstoßes eine Spule mit großer Windungszahl erforderlich. Der beim

1) M. Th. Edelmann, Inaugural-Dissertation, München 1898.

Kurzschluß zwecks Dämpfung auftretende Thermostrom lenkte das Instrument aber dann wieder so stark ab, daß bei Aufhebung der Dämpfung die Spule von neuem stark hin- und herschwankte.

Da aber auch bei diesen Messungen aus den schon im I. Teil angegebenen Gründen eine Versuchsreihe in möglichst kurzer Zeit erledigt werden mußte, so wurde eine Spule mit wenig Windungen, also geringer Empfindlichkeit, von nur 5,1 Ω Widerstand genommen, wobei dann das Instrument in den Hauptstrom gelegt werden mußte.

Durch einen Umschalter war es möglich, statt des Mikrophons einen bekannten Widerstand einzuschalten. Der jeweilige Mikrophonwiderstand wurde dann durch Vergleich der Ausschläge des bekannten und unbekannten Widerstandes gefunden. Der gesamte Stromkreis, mit Ausschluß des zu messenden Widerstandes, betrug unter Vernachlässigung des Akkumulatorenwiderstandes 5,9 Ω. Ergab der bekannte Widerstand w einen Ausschlag von a_w Skalenteilen, der Widerstand x einen Ausschlag von a_x Skalenteilen, so ist:

$$i_w : i_x = a_w : a_x,$$

$$i_w = \frac{e}{w + 5{,}9},$$

$$i_x = \frac{e}{x + 5{,}9}.$$

Hieraus ergibt sich

$$x = \left(\frac{w + 5{,}9}{a_x}\right) a_w = 5{,}9\ \Omega.$$

Der den Versuchsapparat treibende Elektromotor der Allgemeinen Elektrizitätsgesellschaft, Berlin, leistete $1^1/_2$ Pferdekräfte bei normal 2400 Touren in der Minute. Da derartige Umdrehungsgeschwindigkeiten zu große Erschütterungen verursacht hätten, so wurde durch Vorschaltung eines Widerstandes in den Ankerstromkreis die Tourenzahl bedeutend erniedrigt, bis auf 300 Touren in der Minute. Trotzdem schwankte die Tourenzahl nur um 10 Umdrehungen in der Minute, dies bedeutet bei der geringsten Geschwindigkeit von 300 Umdrehungen ein Schwanken der Dauer des Stromstoßes um 3,3 Proz. Kleinere Fehlergrenzen lassen sich aber bei

derartigen mikrophonischen Messungen überhaupt nicht erreichen.

Der Schalthebel wurde erst eingeschaltet und hiermit der Stromstoß gegeben, wenn der Motor seine normale Tourenzahl erreicht hatte. Dies wurde daran erkannt, daß das in den Stromkreis eingeschaltete Ampèremeter nicht mehr zurückging und seinen tiefsten Stand beibehielt, in dem dann der Motor seine volle elektromotorische Gegenkraft entwickelt hatte. Die Tourenzahl im Moment der Messung wurde durch einen Morseapparat kontrolliert, welcher hinter den einen der beiden Schaltelektromagnete geschaltet war. Bei jeder Umdrehung gab der Ringteil einen Stromstoß. Durch Kenntnis der während einer Sekunde ablaufenden Papierstrecke konnte nun leicht durch Zählen der auf eine solche Strecke entfallenden Punkte die Umdrehungszahl festgestellt werden.

Bei der mit zehn Schlitzen versehenen Sirenenscheibe spielte sich also eine volle Periode während einer Drehung um 36° ab. Durch Verstellen des Kontaktes innerhalb dieser 36° war es nun möglich, zu jeder Phase der Periode den momentanen Widerstand des Mikrophons zu messen.

3. Messungen.

In folgendem sollen nun die Resultate der mit dem beschriebenen Apparate ausgeführten Messungen wiedergegeben werden. Dieselben wurden an den vier schon früher erwähnten Mikrophonen ausgeführt und zwar bei konstantem Luftdruck mit zwei verschiedenen Geschwindigkeiten. Größtenteils wurden diese beiden Geschwindigkeiten dann auch noch bei verschiedenem Luftdruck angewendet.

Luftdruck und Schwingungszahl sind oberhalb der Tabellen angegeben. In der zweiten Kolnmne ist der Teilpunkt der 36 teiligen Sinoidenachse angegeben.

Bei meinen ersten Messungen wurde der Kontakt um je 1° verstellt. Da es sich aber auch hier als nützlich erwies, die Dauer einer Versuchsreihe möglichst abzukürzen, so wurde später, zumal der Verlauf der Widerstandsänderung auch aus weniger Punkten ersichtlich ist, der Kontakt um je 3° verstellt.

I.

Mikrophon: Einkontakter von J. Berliner.

(Zu Tabellen 25—38 vgl. Curven *Ad 25* bis *Ad 38.*)

Tabelle 25.

Luftdruck: 145 mm Wassersäule.
Schwingungszahl: 58.
Widerstand der Ruhe: 6,85 Ω.

Nr.	Abszisse	Widerstand in Ω
1	0	12,11
2	3	11,35
3	6	10,45
4	9	6,85
5	12	3,20
6	15	4,8
7	18	3,6
8	21	3,45
9	24	4,71
10	27	8,3
11	30	10,52
12	33	10,88
13	36	12,38

Tabelle 26.

Luftdruck: 145 mm Wassersäule.
Schwingungszahl: 143.
Widerstand der Ruhe: 26,9 Ω.

Nr.	Abszisse	Widerstand in Ω
1	0	28,0
2	3	26,8
3	6	25,4
4	9	23,1
5	12	24,4
6	15	27,4
7	18	28,9
8	21	32,3
9	24	31,2
10	27	32,4
11	30	33,7
12	33	30,5
13	36	28,1

II.

Mikrophon: Mix und Genest.

Tabelle 27.

Luftdruck: 209 mm Wassersäule.
Schwingungszahl: 50.
Widerstand der Ruhe: 11,5 Ω.

Nr.	Abszisse	Widerstand in Ω
1	0	8,9
2	3	7,9
3	6	6,3
4	9	8,3
5	12	1,65
6	15	12,1
7	18	21,0
8	21	19,5
9	24	23,3
10	27	22,3
11	30	18,5
12	33	15,9
13	36	11,0

Tabelle 28.

Luftdruck: 209 mm Wassersäule.
Schwingungszahl: 92.
Widerstand der Ruhe: 32,1 Ω.

Nr.	Abszisse	Widerstand in Ω
1	0	15,9
2	3	11,8
3	6	12,3
4	9	26,3
5	12	33,7
6	15	51,4
7	18	55,0
8	21	67,3
9	24	60,5
10	27	51,8
11	30	37,8
12	33	27,0
13	36	14,5

Tabelle 29.

Luftdruck: 312 mm Wassersäule.
Schwingungszahl: 94.
Widerstand der Ruhe: 12,9 Ω.

Nr.	Abszisse	Widerstand in Ω
1	0	14,53
2	3	5,5
3	6	6,87
4	9	3,45
5	12	3,48
6	15	7,1
7	18	12,2
8	21	17,3
9	24	20,1
10	27	23,7
11	30	20,3
12	33	15,0
13	36	15,3

Tabelle 30.

Luftdruck: 312 mm Wassersäule.
Schwingungszahl: 139.
Widerstand der Ruhe: 37,1 Ω.

Nr.	Abszisse	Widerstand in Ω
1	0	19,6
2	3	20,2
3	6	32,3
4	9	36,4
5	12	47,2
6	15	67,8
7	18	73,5
8	21	71,0
9	24	44,9
10	27	45,2
11	30	35,0
12	33	22,3
13	36	20,0

III.

Mikrophon: Friedr. Reiner, München.

Tabelle 31.

Luftdruck: 209 mm Wassersäule.
Schwingungszahl: 93.
Widerstand der Ruhe: 9,19 Ω.

Nr.	Abszisse	Widerstand in Ω
1	0	7,4
2	3	6,5
3	6	8,45
4	9	11,0
5	12	10,0
6	15	12,6
7	18	13,25
8	21	12,5
9	24	10,8
10	27	8,2
11	30	9,2
12	33	7,6
13	36	8,4

Tabelle 32.

Luftdruck: 209 mm Wassersäule.
Schwingungszahl: 135.
Widerstand der Ruhe: 7,81 Ω.

Nr.	Abszisse	Widerstand in Ω
1	0	7,7
2	3	9,7
3	6	10,2
4	9	11,3
5	12	10,95
6	15	9,4
7	18	8,0
8	21	6,3
9	24	5,3
10	27	5,2
11	30	6,15
12	33	8,9
13	36	8,9

Tabelle 33.

Luftdruck: 393 mm Wassersäule.
Schwingungszahl: 80.
Widerstand der Ruhe: 9,85 Ω.

Nr.	Abszisse	Widerstand in Ω
1	0	7,9
2	3	6,8
3	6	6,9
4	9	7,5
5	12	8,9
6	15	11,5
7	18	15,3
8	21	18,7
9	24	20,6
10	27	19,3
11	30	16,9
12	33	14,9
13	36	10,5

Tabelle 34.

Luftdruck: 393 mm Wassersäule.
Schwingungszahl: 136.
Widerstand der Ruhe: 11,11 Ω.

Nr.	Abszisse	Widerstand in Ω
1	0	2,1
2	3	1,9
3	6	6,2
4	9	7,1
5	12	17,0
6	15	26,1
7	18	33,3
8	21	34,7
9	24	36,9
10	27	24,9
11	30	17,2
12	33	10,6
13	36	2,2

IV.

Mikrophon: Universaltransmitter von J. Berliner.

Tabelle 35.

Luftdruck: 202 mm Wassersäule.
Schwingungszahl: 60.
Widerstand der Ruhe: 10,21 Ω.

Nr.	Abszisse	Widerstand in Ω
1	0	6,3
2	3	7,05
3	6	16,6
4	9	19,1
5	12	21,3
6	15	—
7	18	21,4
8	21	17,3
9	24	10,2
10	27	9,1
11	30	5,2
12	33	7,7
13	36	9,7

Tabelle 36.

Luftdruck: 202 mm Wassersäule.
Schwingungszahl: 154.
Widerstand der Ruhe: 25,51 Ω.

Nr.	Abszisse	Widerstand in Ω
1	0	17,5
2	3	9,3
3	6	7,3
4	9	16,2
5	12	28,3
6	15	32,0
7	18	50,1
8	21	54,0
9	24	58,7
10	27	56,1
11	30	42,0
12	33	31,2
13	36	20,1

Tabelle 37.

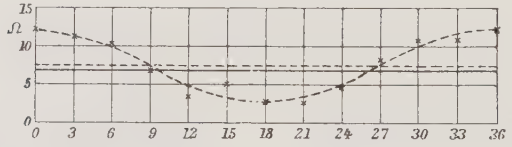
Luftdruck: 314 mm Wassersäule.
Schwingungszahl: 62.
Widerstand der Ruhe: 24,1 Ω.

Nr.	Abszisse	Widerstand in Ω
1	0	36,0
2	3	26,3
3	6	14,2
4	9	7,2
5	12	1,6
6	15	6,1
7	18	9,92
8	21	26,4
9	24	41,9
10	27	45,5
11	30	57,7
12	33	49,9
13	36	46,1

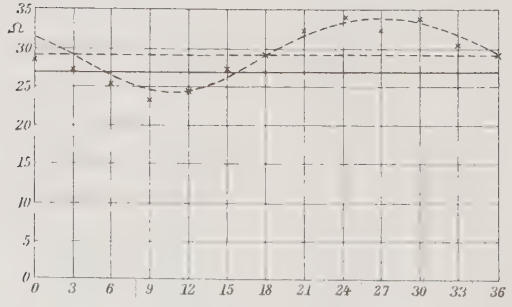
Tabelle 38.

Luftdruck: 314 mm Wassersäule.
Schwingungszahl: 124.
Widerstand der Ruhe: 22,8 Ω.

Nr.	Abszisse	Widerstand in Ω
1	0	42,4
2	3	25,0
3	6	23,2
4	9	5,9
5	12	3,8
6	15	11,4
7	18	31,2
8	21	38,0
9	24	46,0
10	27	56,2
11	30	—
12	33	61,4
13	36	45,0

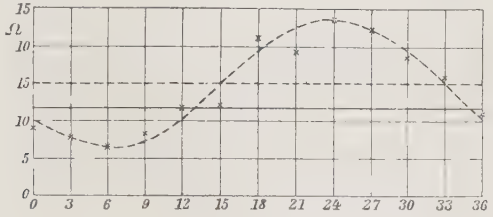


Ad 25. Schwingungszahl: 58.

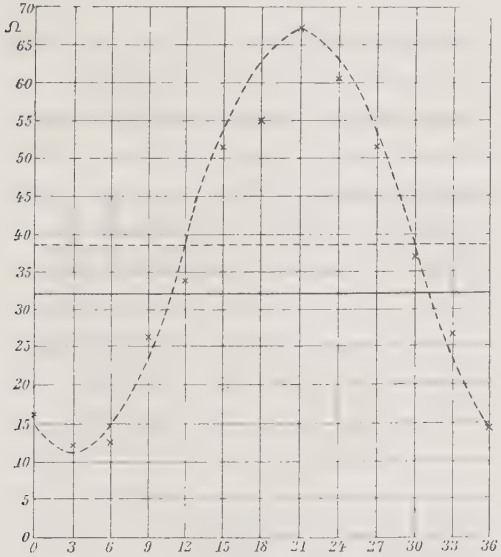


Ad 26. Schwingungszahl: 143.
Luftdruck: 145 mm Wassersäule.
Mikrophon: Einkontakter von J. Berliner.

Die graphische Darstellung dieser Tabellen zeigt hinreichend genau die Widerstandsänderung im Verlauf einer Periode. Der Widerstand ändert sich bei sinusförmigen Tonwellen ebenfalls sinusförmig.



Ad 27. Schwingungszahl: 50.

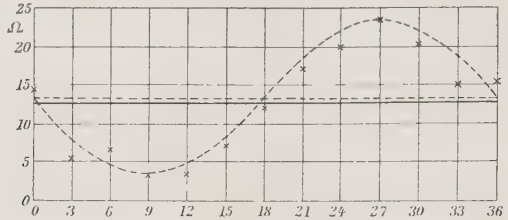


Ad 28. Schwingungszahl: 92.
Luftdruck: 209 mm Wassersäule.
Mikrophon: Mix & Genest.

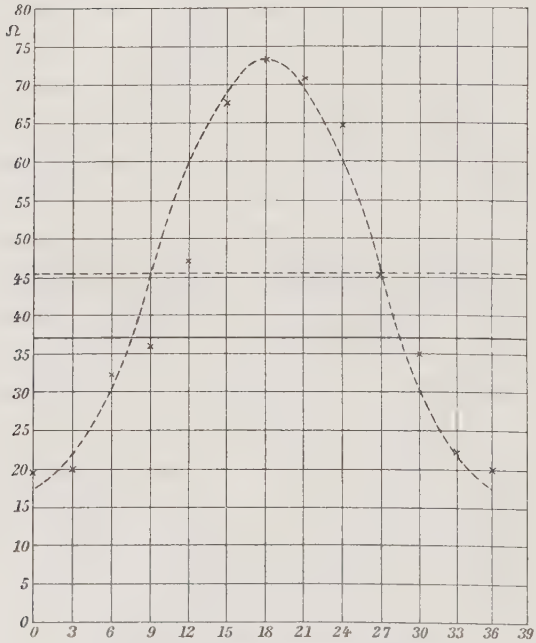
Er wird also an keiner Stelle, wie manche annehmen, ∞ groß.

Der Widerstand der Ruhe fällt nicht mit dem mittleren Widerstand der Bewegung zusammen, sondern ist stets kleiner als letzterer. Dies ist aus der graphischen Darstellung, in

welcher der mittlere Widerstand der Bewegung gestrichelt, der der Ruhe ausgezogen eingetragen ist, sehr gut zu ersehen.

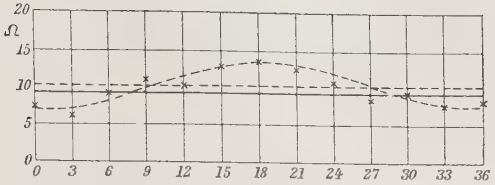


Ad. 29. Schwingungszahl: 94.

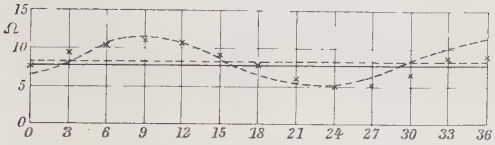


Ad 30. Schwingungszahl: 139.
Luftdruck: 312 mm Wassersäule.
Mikrophon: Mix & Genest.

Ein zahlenmäßiger, genauer Vergleich der verschiedenen Kurven darf wohl kaum angestellt werden, da durch die innerhalb eines längeren Zeitraumes stets auftretenden Erschütterungen der Mikrophonkontakt derartig stark beeinflußt wird,

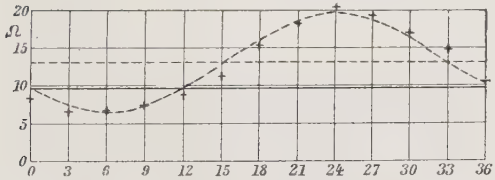


Ad 31. Schwingungszahl: 93.

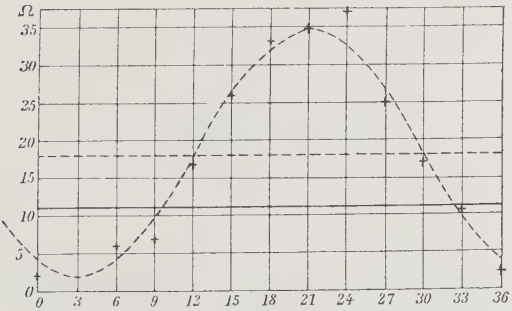


Ad 32. Schwingungszahl: 135.

Luftdruck: 209 mm Wassersäule.



Ad 33. Schwingungszahl: 80.

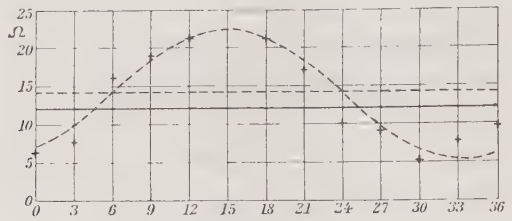


Ad 34. Schwingungszahl: 136.

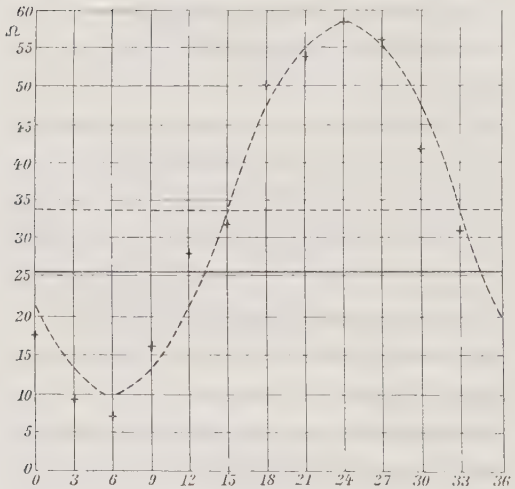
Luftdruck: 393 mm Wassersäule.

Mikrophon: Friedr. Reiner.

daß sowohl die Widerstandskurve oft in ganz beträchtlichem Maße nach oben oder unten verschoben wird, als auch eine sehr verschiedene Form erhält.



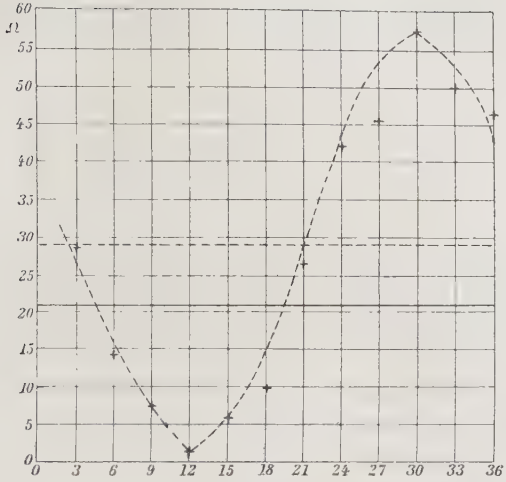
Ad. 35. Schwingungszahl: 60.



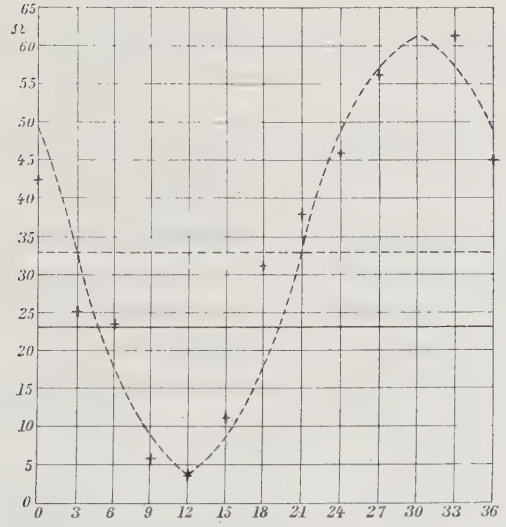
Ad. 36. Schwingungszahl: 154.
Luftdruck: 202 mm Wassersäule.

Mikrophon: Universaltransmitter von J. Berliner.

Immerhin ist aus den Kurven z. B. deutlich der Einfluß vieler Kontaktstellen, wie sie beim Universaltransmitter stattfinden, gegenüber einem Einkontakter zu ersehen. Auffallend ist die bedeutend größere Widerstandsänderung bei verhältnismäßig geringem Steigen der Schwingungszahl.



Ad 37. Schwingungszahl: 62.



Ad 38. Schwingungszahl: 124.

Luftdruck: 314 mm Wassersäule.

Mikrophon: Universaltransmitter von J. Berliner.

Diese Erscheinung läßt sich auch wieder durch eine größere Geschwindigkeitsdifferenz bei kürzerer Schwingungsdauer der Membran erklären.

III. Teil.

Photographische Wiedergabe der durch die Widerstandsänderung des Mikrophonkohlenkontaktes hervorgerufenen Stromkurven.

Die im II. Teil ausgeführten Untersuchungen leiden an dem Übelstande, daß während einer einzigen Tonwelle nur ein einziger Widerstand gemessen werden kann, wie es ja in der Natur dieser Messungen liegt. Außerdem mußte jedesmal der Apparat angehalten werden zwecks Verstellen des Kontaktes. Es wurde deshalb versucht die durch die Widerstandsänderung, infolge Einwirkens sinusförmiger Tonwellen, hervorgerufene Stromwelle zu photographieren.

Läßt sich auch aus einer derartigen Kurve kein Schluß auf die zahlenmäßige Größe der Widerstandsänderung ziehen, so gibt dieselbe doch ein noch besseres Bild von der Form dieser Veränderung.

Zu diesen Versuchen wurde ein Apparat benutzt ähnlich dem von Prof. Herrmann zur Photographie von Vokallauten angewandten.

Auf der Membran eines Telephons war ein Spiegelchen vermittelst eines Glimmerstreifens derart befestigt, daß er bei Bewegung der Membran eine drehende Bewegung ausführte.

Ein aus einer Bogenlampe fallender, von dem Spiegelchen reflektierter Lichtstrahl bildete also, auf einem Schirme aufgefangen, einen sich bei Bewegung der Membran auf- und abbewegenden Lichtpunkt.

Dieser Lichtpunkt wurde nun in den Schlitz einer Wand gerichtet, hinter welcher ein photographischer Film mit großer Schnelligkeit vorbeigezogen wurde. Die Auf- und Abbewegung des Lichtpunktes zeigt sich also auf dem Film als Kurve. Der Film wurde auf eine von einem Elektromotor angetriebene

Rolle aufgewickelt, und war die Einrichtung so getroffen, daß die Rolle erst gekuppelt wurde, wenn der Motor seine volle Tourenzahl erreicht hatte.

In der Mitte des vertikalen Schlitzes wurde nun horizontal ein feiner Draht gespannt und vor Beginn des Versuches der Strom geschlossen und der Lichtpunkt derartig eingestellt, daß Schlitz und Draht ein sich im Mittelpunkte des Lichtpunktes schneidendes Kreuz bildeten. Der Draht, welcher sich in den Photographien als gestrichelte Linie wiedergibt, zeigt also den Widerstand der Ruhe in Bezug auf den Mittelpunkt des Lichtpunktes an. Erst nach dieser Einstellung wurde die im II. Teil beschriebene Sirene zur Erzeugung sinusförmiger Tonwellen benutzt.

Von den in Figg. 5—12 dargestellten Kurven beziehen sich je zwei auf ein Mikrophon.

Es wurde bei allen Kurven derselbe Luftdruck angewendet, nur wurde einmal mit einer Schwingungszahl gleich 50, ein zweites Mal mit einer Schwingungszahl gleich 150 gearbeitet.

Die Kurven bestätigen unsere im II. Teil gefundenen Resultate. Sie zeigen den sinusförmigen Verlauf der Widerstandsänderung, größere Widerstandszunahme als Abnahme bezogen auf den Widerstand der Ruhe, und zeigen ferner die bedeutend größere Widerstandsänderung bei größeren Schwingungszahlen. Gerade letzterer Umstand weist darauf hin, daß Druckveränderungen allein, die nur durch Bewegung der Membran hervorgerufen werden können, wie Fessenden es zuletzt wieder annahm, nicht die Ursache der Widerstandsänderung sein können.

Die Bewegung des Hammerkontaktes und die daraus resultierende Geschwindigkeitsdifferenz scheint hierbei mit eine Hauptrolle zu spielen.

Meine im vorigen wiedergegebenen Untersuchungen über die Widerstandsänderung des Mikrophonkohlenkontaktes während der Bewegung ließen sich noch in vielem weiterführen. Besonders interessant wäre es, die im II. Teil beschriebene Sirenenscheibe mit mehreren Schlitzreihen zu versehen und zu untersuchen, wie sich die Widerstandsänderung des Mikrophonkontaktes bei komplizierteren Tonwellen verhält. Daraus ließe

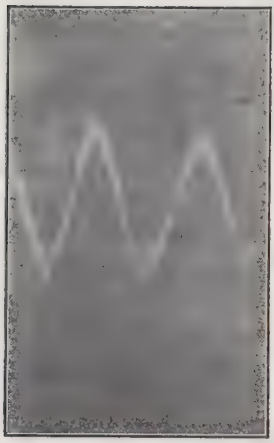


Fig. 5. Schwingungszahl: 50.

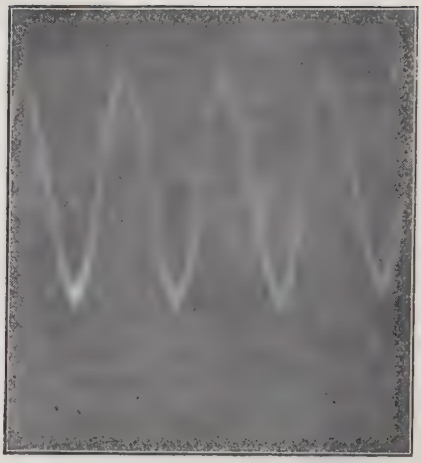


Fig. 6. Schwingungszahl: 150.

„Einkontakter“ von J. Berliner.

Fig. 7. Schwingungszahl: 50.

Fig. 8. Schwingungszahl: 150.

Mix & Genest.

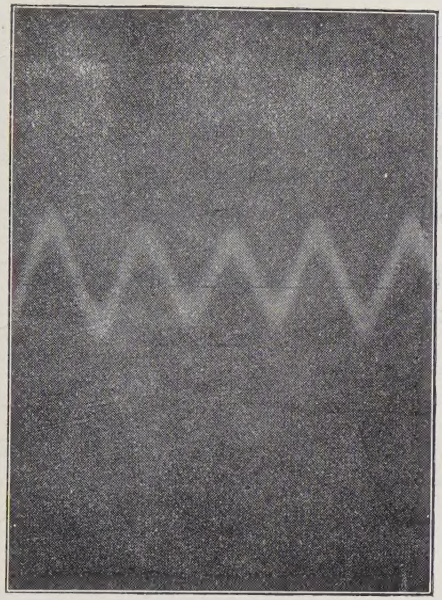


Fig. 9. Schwingungszahl: 50.

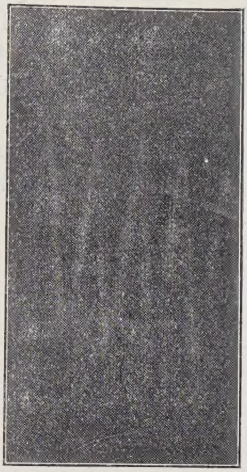


Fig. 10. Schwingungszahl: 150.

Friedr. Reiner.

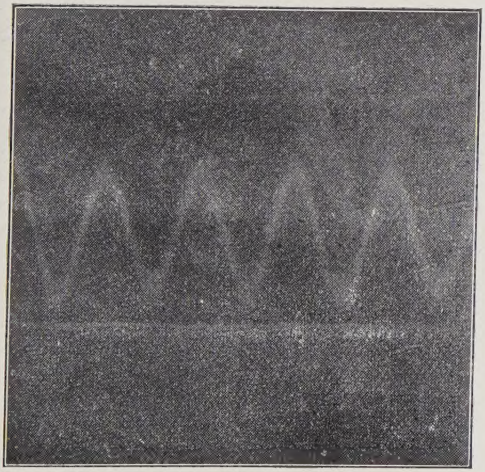


Fig. 11. Schwingungszahl: 50.

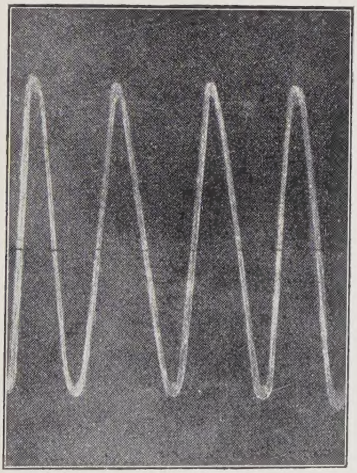


Fig. 12. Schwingungszahl: 150.

Universaltransmitter von J. Berliner.

sich dann ersehen, wie weit das Mikrophon befähigt ist, die Klangfarbe wiederzugeben.

Am Schlusse meiner Arbeit sei es mir gestattet, Hrn. Prof. Dr. Graetz für sein Interesse und seine liebenswürdige Unterstützung bei Ausführung meiner Untersuchungen meinen verbindlichsten Dank auszusprechen; sowie auch Hrn. Privatdozent Dr. Korn für die gütige Überlassung des photographischen Apparates und Hrn. Clam für seine Hülfeleistung bei Photographie der Stromkurven.